КОГЕРЕНТНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ II: НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА ПОТОКОВ ЗНАНИЙ И НАБЛЮДАТЕЛЬ-ЗАВИСИМОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБУЧАЮЩИМИ СИСТЕМАМИ

(Coherent Education II: Nonlinear Knowledge Flow Dynamics and Observer-Dependent Control of Learning Systems)

Панкратов Антон Сергеевич
Pankratov Anton Sergeevich

Независимый исследователь, г. Казань, Россия
Independent researcher, Kazan, Russia

E-mail: anton.s.pankratov@gmail.com
ORCID: 0009-0002-4870-2995

УДК 37.013 + 519.876 + 004.89 + 532.5

АННОТАЦИЯ

Статья развивает теорию когерентного образования [1] в трёх направлениях. Во-первых, введено нелинейное уравнение баланса когнитивных потоков, расширяющее классическую модель потоков [18] за счёт множителя когерентности $\Gamma(B, S) = 4B(1 - B)S$, нормированного так, что при оптимальной когерентности $B = 1/2$ и полной синхронизации $S = 1$ уравнение редуцируется к стандартной форме, а при поглощающих состояниях ($B = 0$ или $B = 1$) поток обращается в нуль. Во-вторых, разработана иерархическая модель когерентности образовательных систем, связывающая индивидуальный, групповой и институциональный уровни через каскадную метрику $S_{\text{cas}} = 1 - \prod_{k=1}^{L}(1 - S_k)$. В-третьих, обоснован степенной закон $3/2$, связывающий когерентность с интенсивностью когнитивного потока по аналогии с законом Чайлда–Ленгмюра [15, 16] в вакуумной электронике, и показано, что этот закон определяет пороговые условия перехода от индивидуального к коллективному режиму обучения. Все формулы верифицированы аналитически и численно; константы φ и π вычислены с точностью до 50 значащих цифр.

Ключевые слова: нелинейная динамика обучения, когнитивный поток, каскадная когерентность, степенной закон $3/2$, наблюдатель-зависимое управление, первеанс, ODTOE.

ABSTRACT

The paper extends the theory of coherent education [1] in three directions. First, a nonlinear cognitive flow balance equation is introduced, augmenting the classical flow model [18] with a coherence multiplier $\Gamma(B, S) = 4B(1 - B)S$, normalised so that at optimal coherence $B = 1/2$ and full synchronisation $S = 1$ the equation reduces to standard form, while at absorbing states ($B = 0$ or $B = 1$) the flow vanishes. Second, a hierarchical coherence model for educational systems is developed, linking individual, group, and institutional levels through the cascade metric $S_{\text{cas}} = 1 - \prod_{k=1}^{L}(1 - S_k)$. Third, the $3/2$ power law connecting coherence to cognitive flow intensity is justified by analogy with the Child–Langmuir law [15, 16] in vacuum electronics, and shown to determine threshold conditions for the transition from individual to collective learning. All formulas are verified analytically and numerically; constants φ and π are computed to 50 significant digits.

Keywords: nonlinear learning dynamics, cognitive flow, cascade coherence, $3/2$ power law, observer-dependent control, perveance, ODTOE.

I. ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В предшествующей работе [1] построена теория когерентного образования на основе формализма ODTOE [2]. Установлено, что обучение формализуется как рост мерности оператора наблюдения d и усложнение когнитивной когерентности B, а элементарной единицей образовательного процесса служит четырёхтактный когнитивный цикл с пропорциями фаз, определяемыми золотым сечением:

$$\varphi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1{,}61803398874989484820458683436563811772030917980576. \tag{I.1}$$

Вместе с тем в [1] остались открытыми следующие вопросы. Уравнение динамики когерентности (II.2) из [1] описывает эволюцию отдельного наблюдателя, но не формализует взаимодействие между потоками знаний в многоуровневой образовательной системе. Метрика когерентности S (II.4) из [1] определена для одного уровня (группы), однако реальная образовательная система включает вложенные уровни: индивидуальный, групповой, межгрупповой и институциональный.

Настоящая работа восполняет эти пробелы. В разделе II вводится нелинейное уравнение баланса когнитивных потоков, обобщающее классический балансовый подход [18] за счёт введения наблюдателя. В разделе III разработана каскадная модель когерентности для вложенных уровней. В разделе IV обосновывается степенной закон $3/2$ и выводятся пороговые условия перехода между режимами обучения. В разделе V исследуется информационная энтропия B-профиля и её связь с устойчивостью. Раздел VI посвящён уточнению временных пропорций когнитивного цикла. Разделы VII и VIII — обсуждение и заключение.

II. НЕЛИНЕЙНОЕ УРАВНЕНИЕ БАЛАНСА КОГНИТИВНЫХ ПОТОКОВ

II.1. Классическая модель и её ограничения

Классическое уравнение баланса потоков вещества или энергии между фиксированными узлами записывается в форме [18]:

$$S_{\text{area}} \cdot \frac{dH}{dt} = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}, \tag{II.1}$$

где S_{area} — характерная площадь (ёмкость) узла, H — уровень (состояние), Q_{in} и Q_{out} — входящий и исходящий потоки.

В контексте образования: S_{area} — ёмкость восприятия обучающегося, H — уровень освоения материала, Q_{in} — поступление нового знания (лекции, учебники, практика), Q_{out} — забывание и деградация навыков. Линейная модель не объясняет двух эмпирически наблюдаемых феноменов: (а) существование поглощающих состояний (полная утрата мотивации и когнитивная закрытость); (б) зависимость скорости усвоения от состояния самого наблюдателя.

II.2. Введение множителя когерентности

ODTOE постулирует [2]: реальность конституируется актом наблюдения, $R = \hat{O}(\Psi)$. Применительно к потоку знаний это означает: эффективность усвоения определяется не только объёмом и качеством входящего потока Q_{in}, но и когерентностью наблюдателя $B(O,C)$, а в групповом контексте — системной когерентностью S. Формализуем это утверждение, введя множитель когерентности:

$$\Gamma(B,S) = 4 \cdot B \cdot (1-B) \cdot S. \tag{II.2}$$

Множитель Γ обладает следующими свойствами:

Свойство 1. $\Gamma(0,S) = 0$ и $\Gamma(1,S) = 0$ для любого S. При $B = 0$ наблюдатель утратил способность воспринимать поток (поглощающее состояние «нулевой мотивации» [1, раздел II.2]). При $B = 1$ наблюдатель убеждён в полноте знаний и не принимает новую информацию (состояние «когнитивной закрытости» [1, раздел II.2]).

Свойство 2. $\max_B \Gamma(B,S) = S$, достигается при $B = 1/2$. Доказательство: функция $f(B) = 4B(1-B)$ есть парабола с вершиной в точке $B = 1/2$, где $f(1/2) = 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = 1$. Следовательно, $\Gamma(1/2, S) = 1 \cdot S = S$. При полной синхронизации $S = 1$ множитель обращается в единицу.

Свойство 3. $\Gamma(B,0) = 0$ для любого B. В полностью десинхронизированной системе ($S = 0$) эффективный поток знаний обнуляется вне зависимости от индивидуальных когерентностей.

Нелинейное уравнение баланса когнитивных потоков:

$$V_{\text{cog}} \cdot \frac{dH}{dt} = (Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}) \cdot \Gamma(B,S), \tag{II.3}$$

где V_{cog} — когнитивная ёмкость наблюдателя (аналог S_{area} в (II.1)), $H(t)$ — уровень освоения предметной области, измеряемый в единицах мерности d [3].

II.3. Стационарные состояния и устойчивость

Стационарные состояния $dH/dt = 0$ уравнения (II.3) реализуются при трёх условиях: $Q_{\text{in}} = Q_{\text{out}}$ (баланс потоков при ненулевой когерентности); $B = 0$ (поглощающее состояние «нуля»); $B = 1$ (поглощающее состояние «единицы»). Последние два состояния стационарны при любом дисбалансе потоков: даже при $Q_{\text{in}} \gg Q_{\text{out}}$ поток знаний не проходит через некогерентного наблюдателя.

Линеаризация уравнения (II.3) в окрестности стационарного состояния $B^* = 1/2$ даёт:

$$\frac{dH}{dt} \approx \frac{Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}}{V_{\text{cog}}} \cdot \left(1 - 4(\delta B)^2\right) \cdot S, \tag{II.4}$$

где $\delta B = B - 1/2$. Квадратичная зависимость от отклонения δB означает: система устойчива в окрестности $B = 1/2$, а скорость обучения убывает при удалении от оптимума по квадратичному закону.

II.4. Связь с уравнением динамики когерентности

Уравнение (II.3) описывает эволюцию уровня знаний H при заданной когерентности B. Уравнение (II.2) из [1] описывает эволюцию самой когерентности:

$$\frac{dB}{dt} = \gamma \cdot \tanh(\beta \cdot \dot{\bar{d}}) \cdot \bar{d} \cdot B(1 - B). \tag{II.5}$$

Совместная система (II.3) + (II.5) самосогласована: уровень знаний H влияет на расстояние $\bar{d}$ в (II.5), а когерентность B из (II.5) входит в множитель Γ в (II.3). Неподвижная точка совместной системы — самосогласованная конфигурация $\Psi^* = \Phi(\Psi^*)$ [2]: обучающийся достиг уровня знаний, порождающего условия для поддержания собственной когерентности.

III. КАСКАДНАЯ МОДЕЛЬ КОГЕРЕНТНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

III.1. Одноуровневая метрика и её недостаточность

Метрика когерентности (II.4) из [1]:

$$S = 1 - \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i<j} |B_i - B_j| \tag{III.1}$$

определена для одного уровня организации: группы из n участников с когерентностями B_i. Реальная образовательная система включает несколько вложенных уровней: обучающийся (уровень 1), учебная группа (уровень 2), поток или факультет (уровень 3), учебное заведение (уровень 4). На каждом уровне k определена собственная когерентность S_k.

III.2. Каскадная когерентность

Предлагается каскадная метрика, основанная на модели независимых рассогласований:

$$S_{\text{cas}} = 1 - \prod_{k=1}^{L}(1 - S_k), \tag{III.2}$$

где L — число уровней иерархии, S_k — когерентность на k-м уровне.

Обоснование: величина $(1 - S_k)$ характеризует степень рассогласования на уровне k. Произведение рассогласований моделирует ситуацию, в которой рассогласования на разных уровнях действуют независимо. Общее рассогласование $(1 - S_{\text{cas}})$ равно вероятности того, что все уровни одновременно рассогласованы.

Свойства каскадной метрики:

1. $S_{\text{cas}} \geq \max(S_k)$. Каскадная когерентность не ниже когерентности наилучшего уровня.
2. $S_{\text{cas}} = 1$ тогда и только тогда, когда $S_k = 1$ хотя бы для одного k.
3. $S_{\text{cas}} = 0$ тогда и только тогда, когда $S_k = 0$ для всех k.

III.3. Числовой пример

Трёхуровневая система с $S_1 = 0{,}85$ (индивидуальный), $S_2 = 0{,}78$ (групповой), $S_3 = 0{,}92$ (институциональный):

$$1 - S_{\text{cas}} = (1 - 0{,}85)(1 - 0{,}78)(1 - 0{,}92) = 0{,}15 \cdot 0{,}22 \cdot 0{,}08 = 0{,}00264. \tag{III.3}$$

$$S_{\text{cas}} = 1 - 0{,}00264 = 0{,}99736. \tag{III.4}$$

Каскадная когерентность ($0{,}997$) существенно превышает когерентности отдельных уровней ($0{,}78$–$0{,}92$). Многоуровневая организация образования повышает устойчивость системы в целом, компенсируя слабости отдельных уровней.

III.4. Согласование со временем жизни конфигурации

Формула времени жизни (II.5) из [1] для каскадной когерентности принимает вид:

$$T_{\text{cas}} = \frac{T_0}{(1 - S_{\text{cas}})^{n_{\text{eff}}}} = \frac{T_0}{\left(\prod_{k=1}^{L}(1 - S_k)\right)^{n_{\text{eff}}}}. \tag{III.5}$$

Для числового примера при $n_{\text{eff}} = 5$:

$$T_{\text{cas}} = \frac{T_0}{(0{,}00264)^5} = \frac{T_0}{1{,}29 \cdot 10^{-12{,}89}} \approx 7{,}7 \cdot 10^{12} \cdot T_0. \tag{III.6}$$

Сравнение с одноуровневой системой ($S_2 = 0{,}78$):

$$T_{\text{group}} = \frac{T_0}{(0{,}22)^5} = \frac{T_0}{5{,}153 \cdot 10^{-4}} \approx 1940 \cdot T_0. \tag{III.7}$$

Отношение $T_{\text{cas}}/T_{\text{group}} \approx 4 \cdot 10^9$ — многоуровневая организация увеличивает устойчивость на девять порядков.

IV. СТЕПЕННОЙ ЗАКОН $3/2$ И ПОРОГОВЫЕ УСЛОВИЯ

IV.1. Аналогия с законом Чайлда–Ленгмюра

В вакуумной электронике плотность тока, ограниченного пространственным зарядом, подчиняется закону Чайлда–Ленгмюра [15, 16]:

$$J = \frac{4}{9}\,\varepsilon_0\sqrt{\frac{2e}{m}} \cdot \frac{U^{3/2}}{d^2}, \tag{IV.1}$$

где U — ускоряющее напряжение, d — расстояние между электродами. Показатель $3/2$ возникает из связи между кинетической энергией ($\propto U$) и импульсом ($\propto \sqrt{U}$) заряженных частиц.

В рамках ODTOE когерентность B выполняет функцию, аналогичную ускоряющему напряжению: она определяет «энергию», доступную для когнитивного потока. Интенсивность когнитивного потока J_{cog} (количество освоенных единиц знания за единицу времени) связана с когерентностью степенным законом:

$$J_{\text{cog}} = \kappa \cdot \frac{B^{3/2}}{I(C)^2}, \tag{IV.2}$$

где κ — коэффициент, зависящий от предметной области, $I(C)$ — инерция контекста [2, формула P2.1], играющая роль расстояния d в (IV.1).

Показатель $3/2$ обосновывается структурной аналогией: когерентность B есть скалярная мера «энергии наблюдения», а когнитивный поток требует и энергии (мотивация, готовность), и импульса (направленное действие, фокус). Удвоение когерентности увеличивает поток в $2^{3/2}$ раз:

$$2^{3/2} = 2{,}8284271247461900976033774484193961571393437507538 9. \tag{IV.3}$$

IV.2. Пороговая когерентность группового перехода

Коллективный режим эффективнее индивидуального, если суммарный когнитивный поток группы превышает сумму индивидуальных потоков:

$$J_{\text{group}} > \sum_{i=1}^{n} J_i. \tag{IV.4}$$

В приближении одинаковых инерций ($I_i = I_{\text{group}} = I$) условие (IV.4) редуцируется к:

$$B_{\text{eff}}^{3/2} > \sum_{i=1}^{n} B_i^{3/2}. \tag{IV.5}$$

Для группы из пяти участников с $B = (0{,}9;\ 0{,}8;\ 0{,}7;\ 0{,}8;\ 0{,}75)$:

$0{,}9^{3/2} = 0{,}853814971905394868515853377937828421079909148133 87;$

$0{,}8^{3/2} = 0{,}71554175279993270516081907341499488785757429504801;$

$0{,}7^{3/2} = 0{,}58565856573940225266289698236832951564982695387782;$

$0{,}8^{3/2} = 0{,}71554175279993270516081907341499488785757429504801;$

$0{,}75^{3/2} = 0{,}64951905283832898507103521501229814455842552961076.$

$$\sum B_i^{3/2} = 3{,}5200760960829915165714237221484458569953082217184 6. \tag{IV.6}$$

Пороговая $B_{\text{eff}} = \left(\sum B_i^{3/2}\right)^{2/3} \approx 2{,}306$. Поскольку $B_{\text{eff}} \leq 1$ по определению, а пороговое значение превышает единицу, для данной группы коллективный режим эффективнее индивидуального при **любой** ненулевой B_{eff}. Для группы участников с высокими индивидуальными когерентностями ($B_i > 0{,}7$) порог всегда преодолён. Для группы с низкими когерентностями ($B_i < 0{,}3$) пороговое условие может не выполняться.

V. ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭНТРОПИЯ B-ПРОФИЛЯ

V.1. Определение и экстремальные значения

B-профиль обучающегося определяется четвёркой весов (w_1, w_2, w_3, w_4), где $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ [1, формула II.1]. Информационная энтропия B-профиля [14]:

$$H_B = -\sum_{i=1}^{4} w_i \ln w_i \tag{V.1}$$

характеризует степень равномерности распределения когнитивных ресурсов между компонентами.

Максимум: $H_B^{\max} = \ln 4$, достигается при $w_i = 1/4$ для всех i:

$$H_B^{\max} = \ln 4 = 1{,}3862943611198906188344642429163531361510002687205 1. \tag{V.2}$$

Обучающийся с максимальной энтропией B-профиля равномерно распределяет ресурсы между фокусом, эмоциональной вовлечённостью, непротиворечивостью и эмпирическим подкреплением. Это профиль координатора [1, раздел IV.1].

Минимум: $H_B^{\min} = 0$ при $w_k = 1$ для одного k и $w_j = 0$ для $j \neq k$. Это крайняя форма дефицита из [1, раздел III.1].

V.2. Связь с устойчивостью

Обучающая система устойчива, если энтропия B-профиля каждого участника превышает пороговое значение:

$$H_B > H_{\text{threshold}}. \tag{V.3}$$

Обоснование: низкая энтропия означает концентрацию на одной компоненте при подавлении остальных. При мультипликативной структуре $B = F^{w_1} \cdot E^{w_2} \cdot (1-\sigma)^{w_3} \cdot \Lambda^{w_4}$ подавление любой компоненты обнуляет когерентность.

Для практических целей: при минимально допустимом весе $w_{\text{min}} = 0{,}1$ конфигурация $(0{,}1;\ 0{,}1;\ 0{,}1;\ 0{,}7)$ имеет энтропию:

$$H_{\text{threshold}} = -\big(3 \cdot 0{,}1 \cdot \ln 0{,}1 + 0{,}7 \cdot \ln 0{,}7\big). \tag{V.4}$$

Вычислим с 50-знаковой точностью:

$\ln 0{,}1 = -2{,}30258509299404568401799145468436420760110148862877$;

$\ln 0{,}7 = -0{,}35667494393873237891263871124118447796401675904691$.

$$\begin{aligned} H_{\text{threshold}} &= -\big(3 \cdot 0{,}1 \cdot (-2{,}30259) + 0{,}7 \cdot (-0{,}35667)\big) \\ &= -\big(-0{,}69078 + (-0{,}24967)\big) = -(-0{,}94045) \\ &= 0{,}94044798865532637044424453427413839685514217792147. \end{aligned} \tag{V.5}$$

Таким образом, $H_{\text{threshold}} \approx 0{,}940$ при $w_{\text{min}} = 0{,}1$.

V.3. Групповая энтропия и оптимальное разнообразие

Для учебной группы из n участников с профилями $\mathbf{w}^{(j)} = (w_1^{(j)}, \ldots, w_4^{(j)})$ определяется групповая энтропия B-профилей:

$$H_{\text{group}} = -\sum_{i=1}^{4} \bar{w}_i \ln \bar{w}_i, \quad \bar{w}_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} w_i^{(j)}. \tag{V.6}$$

Оптимальная группа обладает свойствами: (а) каждый участник имеет доминирующую компоненту (низкая индивидуальная энтропия $H_B^{(j)}$); (б) средний профиль группы сбалансирован (высокая групповая энтропия $H_{\text{group}} \approx \ln 4$). Это формализует принцип комплементарности из [1, раздел IV.1]: группа состоит из специалистов с разными доминантами, а в совокупности покрывает весь спектр компонент.

VI. ОПТИМАЛЬНЫЕ ПРОПОРЦИИ КОГНИТИВНОГО ЦИКЛА: УТОЧНЕНИЕ

VI.1. Верификация временных пропорций

В [1, раздел III.2] установлено, что полная длительность когнитивного цикла составляет:

$$T_{\text{cycle}} = 2(\varphi + 1) \cdot \tau = 2\varphi^2 \cdot \tau. \tag{VI.1}$$

Тождество $\varphi + 1 = \varphi^2$ следует из определяющего уравнения золотого сечения $x^2 - x - 1 = 0$. Подставляя:

$$\varphi^2 = 2{,}6180339887498948482045868343656381177203091798057 6. \tag{VI.2}$$

$$\varphi + 1 = 2{,}61803398874989484820458683436563811772030917980576. \tag{VI.3}$$

Разность: $|\varphi^2 - (\varphi + 1)| < 10^{-50}$, что подтверждает тождество.

При $\tau = 15$ мин:

$$T_{\text{cycle}} = 2 \cdot 2{,}61803 \cdot 15 = 78{,}54102\,\text{мин} \approx 78{,}5\,\text{мин}. \tag{VI.4}$$

Отклонение от стандартной 80-минутной «пары» составляет 1,8%.

VI.2. Структура «колокола устойчивости» и пропорции фаз

Четырёхтактная структура цикла включает две фазы расширения ($\varphi\tau$ каждая) и две фазы сжатия (τ каждая) [1, раздел II.3; 4, 17]. Доля расширения в полном цикле:

$$\frac{2\varphi\tau}{2(\varphi+1)\tau} = \frac{\varphi}{\varphi+1} = \frac{\varphi}{\varphi^2} = \frac{1}{\varphi} = 0{,}61803398874989484820458683436563811772030917980576. \tag{VI.5}$$

Доля сжатия:

$$\frac{2\tau}{2(\varphi+1)\tau} = \frac{1}{\varphi+1} = \frac{1}{\varphi^2} = 0{,}38196601125010515179541316563436188227969082019424. \tag{VI.6}$$

Сумма: $1/\varphi + 1/\varphi^2 = (\varphi + 1)/\varphi^2 = 1$. Проверка пройдена.

VII. ОБСУЖДЕНИЕ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Предложенная нелинейная модель расширяет теорию когерентного образования [1] в нескольких существенных отношениях.

Множитель когерентности $\Gamma(B, S) = 4B(1 - B)S$ формализует интуитивно очевидное, но ранее не формализованное утверждение: эффективность потока знаний зависит от состояния наблюдателя. Парабола $B(1-B)$ с максимумом в точке $B = 1/2$ и нулями в точках $B = 0$, $B = 1$ воспроизводит эмпирически наблюдаемую нелинейность обучения. Нормировочный коэффициент 4 выбран из условия редукции к классическому уравнению при оптимальных параметрах: $4 \cdot (1/2) \cdot (1/2) = 1$.

Каскадная когерентность S_{cas} вводит количественную меру устойчивости многоуровневых образовательных систем. Результат $S_{\text{cas}} \gg \max(S_k)$ показывает, что многоуровневая организация сама по себе является механизмом повышения когерентности. Это согласуется с историческим наблюдением: образовательные институции (университеты, академии) устойчивее индивидуальных и групповых форм обучения.

Степенной закон $3/2$ устанавливает мост между физической теорией вакуумных потоков и когнитивной динамикой, развивая идею Кибальникова и Гинзбурга о первеансе как универсальном инварианте [4, 17]. Пороговое условие (IV.5) предоставляет измеримый критерий выбора между индивидуальным и коллективным обучением.

Ограничения: (а) множитель Γ выведен из структурных соображений и требует экспериментальной верификации; (б) каскадная модель предполагает независимость рассогласований на разных уровнях, что является упрощением; (в) степенной закон $3/2$ обоснован аналогией с законом Чайлда–Ленгмюра, однако строгий вывод из первых принципов ODTOE остаётся задачей дальнейших исследований.

VIII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа развивает теорию когерентного образования [1] по трём направлениям.

Введено нелинейное уравнение баланса когнитивных потоков (II.3) с множителем когерентности $\Gamma(B, S) = 4B(1-B)S$, связывающим эффективность усвоения знаний с когерентностью наблюдателя и синхронизацией системы. Показано, что уравнение обладает двумя поглощающими состояниями ($B = 0$ и $B = 1$) и продуктивной зоной с максимумом при $B = 1/2$.

Разработана каскадная метрика когерентности $S_{\text{cas}} = 1 - \prod_k (1 - S_k)$ для многоуровневых образовательных систем. Числовой пример демонстрирует: трёхуровневая организация ($S_1 = 0{,}85$, $S_2 = 0{,}78$, $S_3 = 0{,}92$) обеспечивает каскадную когерентность $S_{\text{cas}} = 0{,}997$ и увеличивает время жизни конфигурации на девять порядков по сравнению с одноуровневой системой.

Обоснован степенной закон $3/2$, связывающий когнитивный поток с когерентностью по аналогии с законом Чайлда–Ленгмюра, и выведено пороговое условие перехода от индивидуального к коллективному обучению (IV.5).

ПРИЛОЖЕНИЕ А. СВОДКА ФОРМУЛ

Номер	Формула	Описание
(II.2)	$\Gamma(B,S) = 4B(1-B)S$	Множитель когерентности
(II.3)	$V_{\text{cog}} \cdot dH/dt = (Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}) \cdot \Gamma$	Нелинейное уравнение баланса
(III.2)	$S_{\text{cas}} = 1 - \prod(1-S_k)$	Каскадная когерентность
(III.5)	$T_{\text{cas}} = T_0 / \left(\prod(1-S_k)\right)^{n_{\text{eff}}}$	Время жизни каскадной конфигурации
(IV.2)	$J_{\text{cog}} = \kappa B^{3/2}/I(C)^2$	Степенной закон $3/2$
(IV.5)	$B_{\text{eff}}^{3/2} > \sum B_i^{3/2}$	Пороговое условие
(V.1)	$H_B = -\sum w_i \ln w_i$	Информационная энтропия B-профиля
(VI.1)	$T_{\text{cycle}} = 2\varphi^2\tau$	Длительность когнитивного цикла

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Панкратов А. С. Когерентное образование: теория и методология построения обучающих систем на основе ODTOE // Препринт. — 2025.

[2] Панкратов А. С. Наблюдатель-зависимая теория всего (ODTOE): аксиома, постулаты и математический формализм // Препринт. — 2025.

[3] Панкратов А. С. Мерность наблюдателя как фундаментальный параметр актуализации конфигураций в ODTOE // Препринт. — 2025.

[4] Гинзбург В. Е., Кибальников С. В. Взгляд на технологические проблемы устойчивого развития человеческой цивилизации с позиции перveансной электронной оптики // Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление. — 2011. — Т. 7, № 4(13). — Ст. 3.

[5] Arnold V. I. Mathematical Methods of Classical Mechanics. — New York: Springer-Verlag, 1978. — 462 p.

[6] Панкратов А. С. Когерентность наблюдателя как фактор устойчивости бизнеса // Препринт. — 2025.

[7] Кибальников С. В. SKW матрица — «эффект караоке» в образовании и высокотехнологичном производстве [Электронный ресурс]. Режим доступа: `http://kibalnikov.com/wordpress/?p=57`

[8] Панкратов А. С. Минимальная устойчивая проектная команда: пять ролей странной петли // Препринт. — 2025.

[9] Bender E. M., Gebru T., McMillan-Major A., Shmitchell S. On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? // Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. — 2021. — P. 610–623. doi:10.1145/3442188.3445922.

[10] Панкратов А. С. Число π как структурный инвариант самосогласованного наблюдения в ODTOE // Препринт. — 2025.

[11] McCraty R., Zayas M. A. Cardiac coherence, self-regulation, autonomic stability, and psychosocial well-being // Frontiers in Psychology. — 2014. — Vol. 5. — Art. 1090. doi:10.3389/fpsyg.2014.01090.

[12] Кибальников С. В., Гинзбург В. Е. Первеанс как мост между физикой, обществом и мышлением // Аналитическое эссе. — 2025.

[13] Кибальников С. В. Разработка и экспериментальное обоснование модели резонансного управления социально-экономическими системами на основе ODTOE // Заявка на грант. — 2025.

[14] Shannon C. E. A mathematical theory of communication // The Bell System Technical Journal. — 1948. — Vol. 27, No. 3. — P. 379–423. doi:10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x.

[15] Child C. D. Discharge from hot CaO // Physical Review (Series I). — 1911. — Vol. 32, No. 5. — P. 492–511. doi:10.1103/PhysRevSeriesI.32.492.

[16] Langmuir I. The effect of space charge and residual gases on thermionic currents in high vacuum // Physical Review. — 1913. — Vol. 2, No. 6. — P. 450–486. doi:10.1103/PhysRev.2.450.

[17] Кузнецов О. Л., Кузнецов П. Г., Большаков Б. Е. Система природа–общество–человек: устойчивое развитие. — М.–Дубна: Ноосфера, 2000.

[18] Кибальников С. В. Совершенствование управления рисовыми оросительными системами: дис. ... д-ра техн. наук. Киргизский СХИ им. К. И. Скрябина, 1990.

[19] Панкратов А. С. Тороидальная топология реальности: π-вращение, φ-скачки и вложенные торы // Препринт. — 2026.